H.Om.E 家計劃中以抽象轉換模型做為人工藝品設計的迭代

摘要：本文獻紀錄了H.Om.E 家計劃中基於染料敏化太陽能技術（dye sensitized solar cell DSSC）的藝術品的製造過程與策略。染料敏化太陽能是一種相對成本低廉且製作容易的第三代太陽能技術，它是玻璃基底且具半透明性質，能夠被自然染色或化學染色，能透過網版印刷技術客製圖案化。本文提出了使用DSSC做為生成記憶概念的載體的方法，以及利用其光電特性和變分自編碼器（variational auto-encoder）做為聲音藝術裝置的構想。最後討論了將其織品化的可能性，以及介紹染敏太陽能織品與憶阻器矩陣在材料和概念上的關聯。

關鍵字：染料敏化太陽能、二氧化鈦、生成記憶、變分自變碼器、RAVE、VAE

1. 介紹

H.Om.E 家計劃是由三個前計劃所組成，包括部落對抗機器、Tashigatsen小學溫室計劃以及I_C Project。這些計劃的屬性使研究團隊對人工藝品的開發方向圍繞在穿戴式裝置、電子織品、太陽能版，因此本研究關注電子元件與織品之間的共享結構，例如掃描矩陣與編織結構之間的相似性。另一個本研究與穿戴式和織品的連結來自於 EMT（延展心智理論），其主張位於顱外的外部資源在某些條件下，可以成為實現認知的機器的一部分，並且這些外部資源只有在可攜帶，易於訪問，自動信任（可靠）的情況下，才能算作我們心智的一部分。此點也與在部落對抗機器提出的「服誌 Fuzhi」主題相呼應，該主題關於「如何穿戴記憶」──如何結合穿戴裝置技術和傳統服飾以達到保存傳統服飾的目地。為了呼應這些概念，本文提出了數個原型概念，其中有些已經進入實作階段，有些還處於概念發想階段，以下紀錄這些原型當前的發展狀況和對其發表簡短評估，這些原型提供了未來實現製作實體藝術裝置來連結「生成系統和延

展心靈做為抽象轉換模型連結兩種文化」中提到的「抽象轉換模型」以及「生成記憶」概念的可能性。本文的第三節介紹了這些概念原型與計劃概念的連結，以及發展上的迭代。這些紀錄專注於概念上思路的變化，但略過了製作方法的細節。

2. 計劃概念——生成記憶

在「生成系統和延展心靈做為抽象轉換模型連結兩種文化」（出版中）在遺產保存和織品設計框架下討論了使用生成 AI 如自動變分編碼器（VAEs）做為認知神經科學中抽象轉換模型的意義與方法，並提出了「生成記憶」概念在認知神經科學與藝術領域中的共同平行角色。該文章結合了延展心靈理論（EMT）和 Igold 提出的文化物網絡，以一種抽象且具有感知的網絡描述了一種星球關系。

3. 概念載體原型迭代

3.1 磁蕊記憶體 Core rope memory

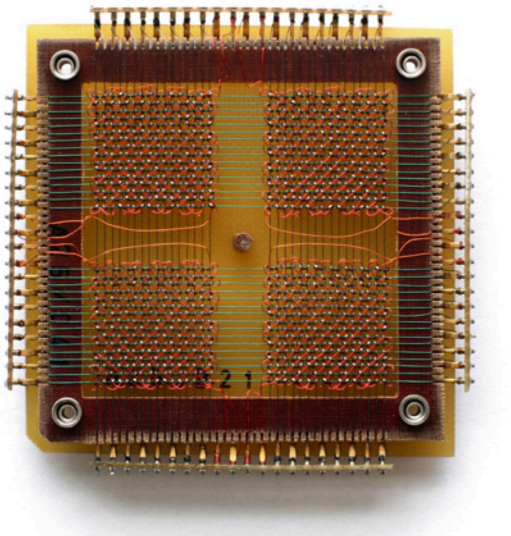


圖 **1.** 核心記憶體模組 – 32 x 32 核心記憶體平面，儲存 1024 位元（或 128 位元組）資料。柵線交叉處的小黑環排列成四個正方形，是鐵氧體磁芯。

在本研究中我第一個想到與「遺產保存」概念和編織技術相關的就是電子織品藝術界裡著名的磁蕊記憶體。其是電腦發展史上繼提花機的誕生之後，與編織技術最有關聯的運算技術。我們可以參考 Daniela K. Rosner 的方法，其涉及深入研究設計的遺產，擴展「設計」的定義以包括長期被忽視的實踐敘述。這種對設計歷史的重新解釋旨在透過整合這些重新發現的實踐來增強當前的設計方法。她的研究因其女性主義技術科學視角而特別引人注目，她研究了工藝與計算的交叉點。例如，她探索了傳統工藝實踐（例如為美國宇航局阿波羅任務編織電線的 little old ladies 計劃所採用的傳統工藝實踐）如何為現代硬體製造做出貢獻。這種歷史、理論和個人敘述的融合展示了工藝和硬體製造如何相互影響和轉變，為設計提供新的見解和方法。

她的書《批判性的幻想》提出重新定義設計，不僅是研究性的和激進的，而且是個人的和文化定位的。這種重新定義挑戰了設計領域的主導範式，旨在透過承認和整合長期沉默的工藝和技術工作的故事，從內部重新設計實踐。Rosner 為 H.Om.E 家計劃的人工藝品製造方法提供

了一個很好的範本，但最後因為磁蕊記憶體需要大量製造人力成本的限制，我們放棄了在實作上重現這個技術，並轉而追求較當代的運算技術。

3.2 阿卡塔馬的補霧網技術 Fog collector in Atacama desert

另一個 H.Om.E 的前計劃是由 Maria Jose Rios 策劃的 I_C Project[1]，旨在織品設計和資料視覺化觀點上重新發現智利當地的古老文化，如天文、文字、符號等等。該計劃發源於智利的安第斯山脈，也是 ALMA 天文台的所在之處。這項計劃受到 ALMA 的科技藝術補助支持，施惟捷在 2022 時開始參與該計劃，並在台灣以一衛星計劃 I_C X ALMA X Laser Dye[2] 回應了這個精神，旨在藉由當代天文資料重現馬普切文明中的暗星座文化。

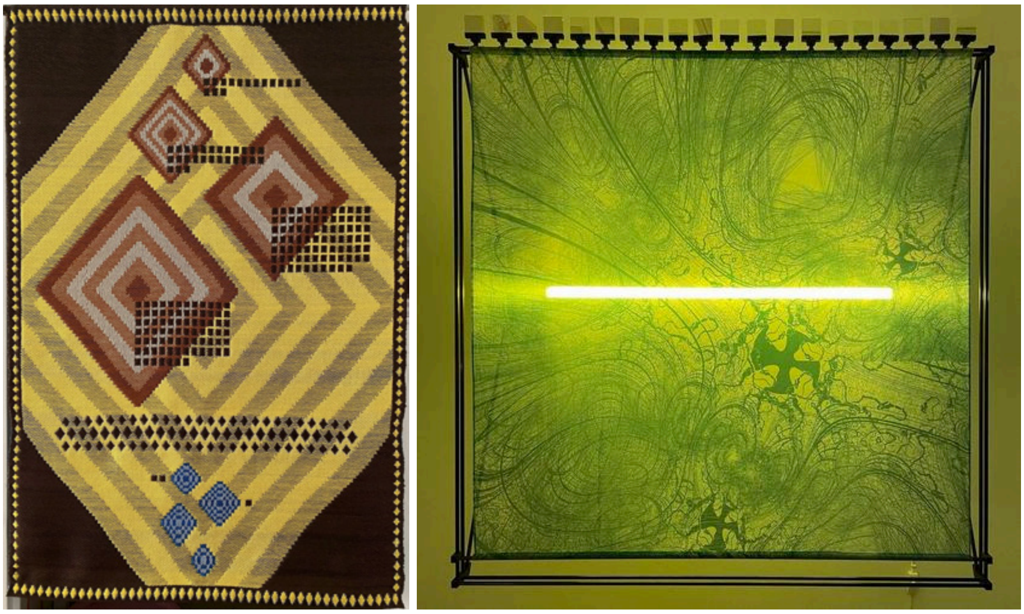


Figure 2. Right: A textile artwork created in the I_C Project based on astronomical data. Maria Jose Rios and Ricardo Vega utilized simple astronomical data for visual representation. Initially, more complex data were considered, but simpler astronomical data were chosen to create images on two pieces of textile. This data comes from the solar system and its major celestial bodies, such as planets, satellites, and the asteroid belt. Information such as size, position, number of satellites, and chemical composition was extracted and visually represented based on this data. The textile design was inspired by the coding of traditional Latin American textiles, featuring geometric patterns similar to these textiles. Some patterns have a high degree of complexity and symbolism, which were not intended to be directly imitated. To develop these works, the astronomical data were converted into spreadsheets and integrated using the Java-based Processing programming language and environment, designed for artists and designers. A series of simple programming processes allowed the development of multiple visual proposals within the same framework, adjusted to achieve the desired aesthetic effect through data variation (image provided by Maria).

Left: Laser dye works and detail photos converted from dark constellation star data. The star data were transformed into fractal patterns, then converted into laser scanning actions to develop natural fibers coated with developer. This star data consists of a segment of the Astronomy Data Query Language (ADQL), which can be used to extract all star data within the dark constellation range in the Mapuche culture from the Gaia database.

補霧網技術是一種通過凝結水蒸氣從空氣中收集水的過程，可成為在淡水資源有限的地區獲取水的有效方法。阿塔卡馬沙漠就是這樣一個地區，被稱為地球上最乾燥的地方之一並擁有最清澈的天空，這也是為什麼 ALMA 被建造於此。在阿塔卡馬沙漠中有許多大氣水收集技術，其中一種方法是使用補霧網，這是一大片網格或網狀物，可從霧中捕捉水滴。補霧網通常設置在山丘或其他可能出現霧的地區，然後收集並儲存捕獲的水，是在乾旱地區獲取水的一種有效的做法。

---

[1] https://vestibles.cl/proyectos/i_c-interconexiones/
[2] https://ic-taiwan.xyz/

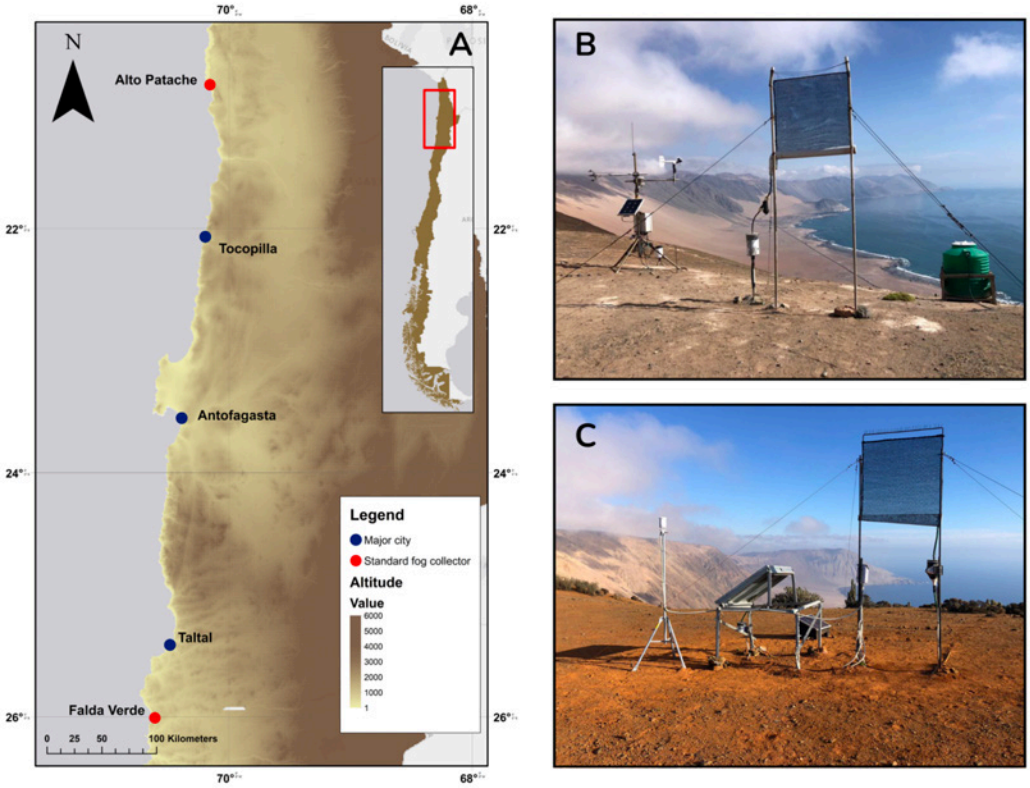


圖 **3.** (A) 沿海阿塔卡馬沙漠中的研究地點位置以紅點表示(標準霧收集器)。藍點表示距離研究地點最近的城市地區。標準集霧器以及 Alto Patache (B) 和 Falda Verde (C) 的氣象站。

另一個研究展示了編織結構與地理位置和生態系統之間存在有趣關連(圖3);一些研究者們對美國加州中部沿海地區的四個不同補霧網站進行了實驗。這些站點具有不同的生態系統和地理屬性。研究結果顯示,不同網子形狀與特定地理環境的匹配,對於提高霧水收集的有效性具有重要意義(Fernandez 2017)。另項研究評估了在阿塔卡馬沙漠的兩個地點(Alto Patache和Falda Verde)補網霧收集水的能力。Alto Patache 位於智利北部塔拉帕卡大區的一個霧氣綠洲,靠近伊基克省。這個地區以其特有的霧收集技術聞名,用於研究和開發在乾旱和半乾旱地區的水資源管理策略。Alto Patache 的地理位置靠近海岸線,約有780米的海拔,使其成為研究霧水收集和利用的重要地點。該研究的評估了霧水收集效率在不同環境條件下的變化對當地溫室蔬菜生產的影響。該研究具體的估算了在兩個地點的溫室內環境調節所需的能源,包括風扇和水泵的能源需求,並將這些能源需求與光伏系統的能量產出進行匹配,以確保溫室內的環境能夠維持在適宜的範圍內(Albornoz 2023)。

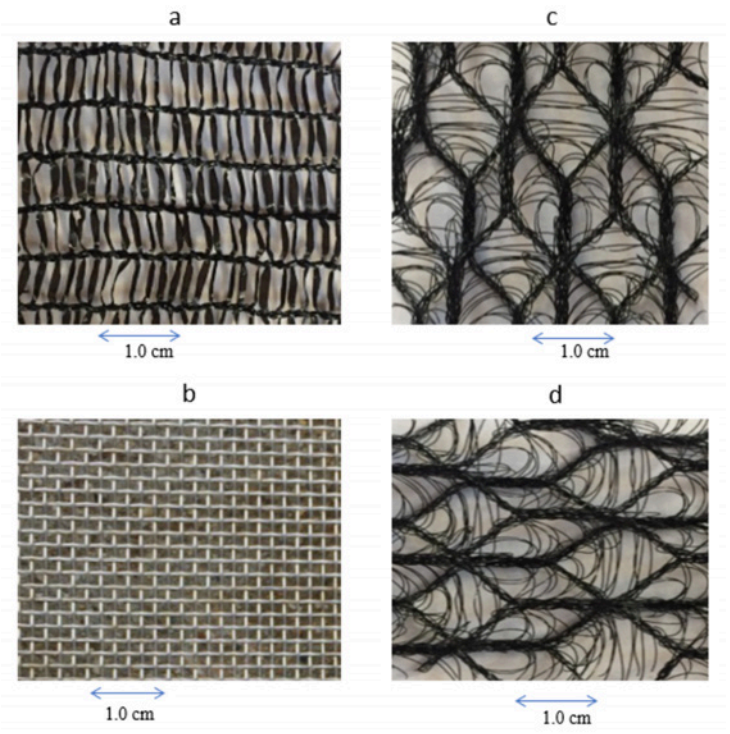


圖 **4.** 低海拔地區如Montara，由於靠近海洋，風速較小，Raschel 網 (a) 在低風速下的收集效率較高。高海拔地區如 Pepperwood Preserve，由於風速較大，MIT-14網 (b) 在高風速下的收集效率較高。這可能是因為這些地區風速足夠大，可以克服網的阻力，促進水滴的排水。在海岸草地懸崖上，由於靠近海洋，霧滴通常較小，旋轉 90º 的 FogHa-Tin 網 (d) 和MIT-14網可能更有效，因為它們的網孔設計適合捕捉較小的霧滴。FogHa-Tin網 (c)：其三維結構在不同風速下均有良好表現，特別是在高風速區域，能夠有效捕捉和排水。

一些研究展示了這些與環境相關的織品設計與電子工程之間的關連，Maher Damak 和 Kripa K. Varanasi 在他們的研究《Electrostatically driven fog collection using space charge injection》中提出了一種通過電荷注入來增強霧收集率的創新方法。傳統的補霧網多使用網狀結構，依賴霧滴的慣性碰撞來捕獲霧滴。然而，這些設計受到空氣動力學的限制，效率低下，通常只有 1% 到 2%。通過引入電場來克服空氣動力學的限制。

具體方法是使用離子發射器將霧滴充電，使其帶有淨電荷，然後利用電場將這些帶電霧滴引導到補霧網上。這樣，可以克服空氣阻力，顯著提高霧收集效率。傳統網狀設計的收集效率低是因為霧滴會隨著氣流偏離網線。通過電場作用，帶電霧滴可以更有效地被引導到網線上，不再依賴氣流方向。在電場的作用下，霧滴的運動軌跡被重新定義，電場線將霧滴引導到網線上，從而增強了霧收集的效率。

這項研究顯示，通過在霧收集中引入電場，利用電荷注入來改變霧滴的運動軌跡，可以顯著提高收集效率。這種方法打破了傳統空氣動力學的限制，提供了一種創新的解決方案，並展示了如何通過結合電場和織品結構來改善霧收集技術（圖5）。

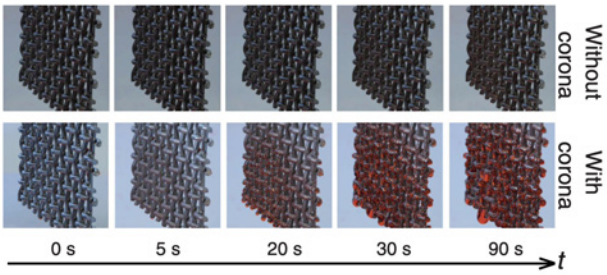


圖 **5.** 比較了施加電場與沒有施加電場的補霧網的縮時圖片。第二排施加了 15 kV 電壓，而第一排則沒有電場。為了可視化目的，將紅色染料添加到分散的霧中。可以看到施加電場能增加補霧網的收集水的效率。

值得注意的是已經有許多此補霧網技術與建築或是穿戴式藝術裝置結合的先例，例如在南衣索比亞的 Warka Wate r計劃、摩洛哥的 CloudFisher 計劃，以及 Pavels Hedström 的藝術作品 Fog-X 等等，並且在這些計劃中都提到了以蜘珠或是细足沙蝽等收集霧水的行為做為仿生設計靈感。

3.3 DSSC 感知器作為抽象轉換模型人工藝品

另一個 H.Om.E 家計劃的前計劃「溫室之心[3]」啟發了 DIY 太陽能和將其織品化的想法——扎格西小學是一個位於海拔 3700 公尺的小學，這裡具有極度強烈的日照和隨處可見的廢棄太陽能版，利用當地植物染色製造便宜的染料敏化太陽能玻璃似乎是很好的教育材料（圖6）。在第一階段中探索了如何在有限成本下，在不具有專業設備的小型實驗室中製造這些與當地植物有關聯的太陽能技術，這解釋了研究中藝術材料與技術的選擇方式是受到社區屬性影響。

可惜最後因田野調查的成本與人事問題，在計劃的第二階段中我們決定停止暫停與社區環境連結的田野調查，但維持材料研究層面上的研究，例如如何在小型實驗室中 DIY 製造大型的染料敏化太陽能電池[4]，還有其它數個關於優化太陽能製程的材料實驗，這些實驗專注在非玻璃基底的太陽能相關生產技術，像是使用網版印刷技術圖案化光電極，以及在火山礦物纖維基底上製造織品版本的光伏電池等等，這些實驗成為了本文中所要介紹的人工藝品的重要元件。

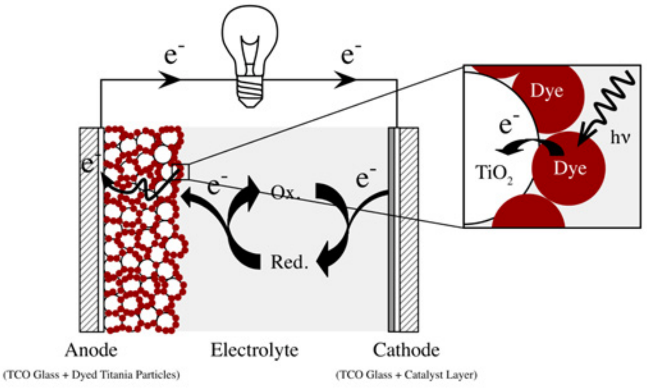


圖 **6.** 染料敏化太陽能電池（DSSC, Grätzel cell）是一種易於製造且便宜的光伏裝置，可在小型實驗室製作。然而，轉換效率仍然很低，因此很難達到商業目的。但由於二氧化鈦層的圖案以及顏色能有高度的訂制可能性，以及相對於一般體積都偏小的市面產品，小型電窯可以被用來製作相對面積較大、具高度藝術性和光電性的互動物件。

---

[3] https://archive.org/details/the-minnd-of-a-greenhouse-b-w

[4] https://hackaday.io/project/194944-diy-large-dye-sensitized-solar-cell

使用染料敏化太陽能技術製作計劃中的概念載體有三個功能，第一是此技術對計劃社區在實用層面上或是教育層面上都具有正面意義。第二是其結構屬性與人工智慧概念上的相關性：染料敏化太陽能的半透明性使其有望在光學層面上模仿 DCNN 的多層結構。第三是 DSSC 的主要成份、製程與結構類似於下一代人工運算的主要電子元件——憶阻器（memristor），此研發路徑和累積的知識也能使我們的藝術工作與未來的人工智慧領域保持好的連繫。

透過模仿感知器來討論人工智慧在歷史意義的層面上具有卓越意義，單層感知器由 Rosenblatt 於 1958 年提出，是最早、最簡單的神經網路模型之一。感知機（Perceptron）可以被視為聯結主義（Connectionism）的起源之一；聯結主義是一種模擬人類認知過程的計算模型，假設智能行為是由大量簡單單元之間的互聯互動產生的。聯結主義的基本思想是從神經生物學中借鑒而來，認為智能源於神經元之間的連接和互動。感知機是最早的實現這一思想的模型之一。

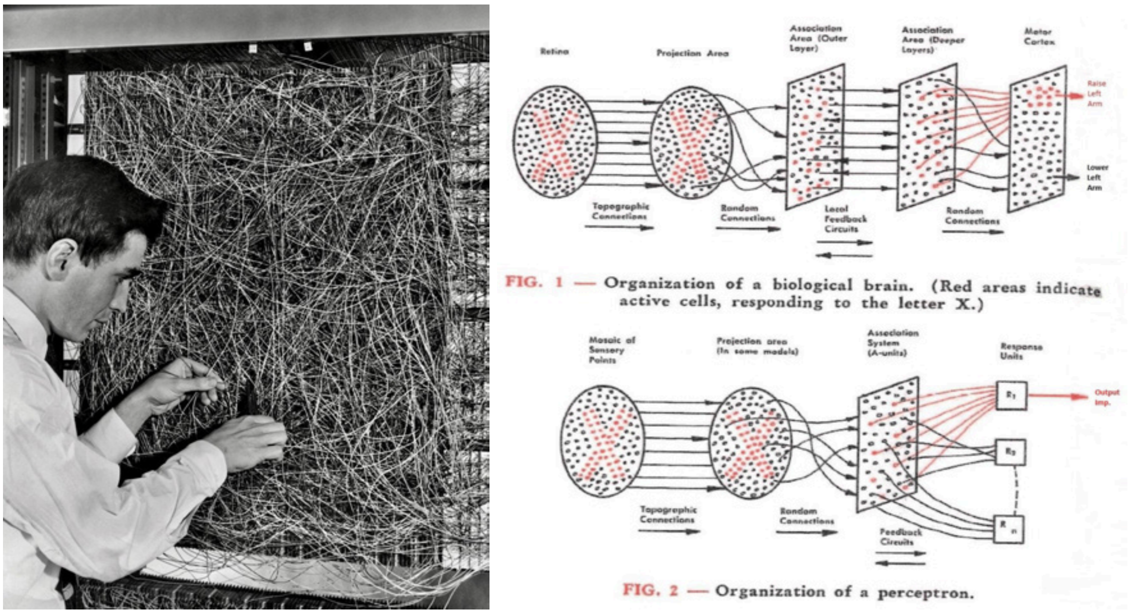


圖 **6.** 左：1960 年，32 歲的弗蘭克·羅森布拉特 (Frank Rosenblatt) 正在給 Mark 1 感知器接線。右：生物大腦和 Perceptron 的構造比較，智慧自動機的設計（1958 年）。（圖片由維基共享資源提供。）

受啟發於感知器的原理，本文提出以 DSSC 作用為類似 CMOS 的平面數位感光元件（Planar digital image sensors）再加上一層光場攝影機中的微透鏡矩陣（microlens array, MLA），來製作一個可以不使用物鏡（objective lens）來智慧識別環境的平面相機。光場攝影機利用微透鏡陣列（MLA）來捕捉光線的角度和位置信息，這些信息可以在後處理階段用來重建不同焦距和景深的圖像。物鏡的作用是將物體的光線聚焦到微透鏡陣列上，從而形成清晰的中間圖像。但在沒有物鏡的情況下，後處理技術需要更加精細和復雜，以彌補缺乏初步聚焦的缺陷，但在生產藝術品的前提下使我們有較寬容的技術需求。

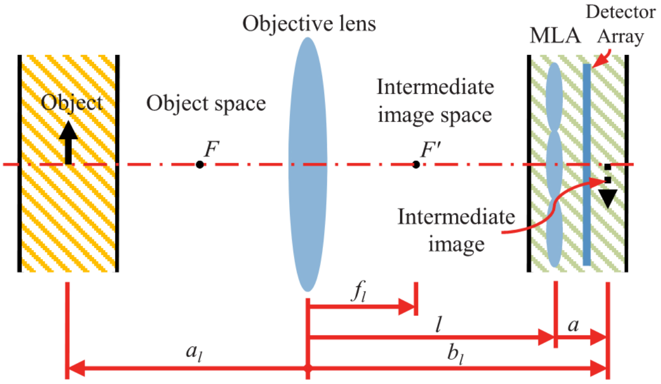


圖 **7.** 光場攝影機中物體空間和中間影像空間之間的關係。黃色和綠色的陰影區域分別表示物體空間和中間影像空間中的深度範圍。圖中的要素包括：物鏡（Objective lens）：負責將物體的光線聚焦到中間影像空間中。微透鏡陣列（MLA）：放置在中間影像空間，進一步分割和捕捉來自不同角度的光線。檢測陣列（Detector Array）：記錄微透鏡陣列後的光線信息（Zhu 2018）。

光場攝影機利用微透鏡陣列（MLA）捕捉光線的方向和位置信息，形成四維光場數據（4D Light Field data）。四維光場（4D Light Field）是描述光在空間中傳播的一種高維數據表示方式，它記錄了光線在每個位置上的方向和強度。光場的概念最早由物理學家Michael Faraday提出，後來被應用於計算攝影和光學成像技術中。這些數據可以在後處理階段用於重建不同焦距和景深的圖像。微透鏡陣列的每個微透鏡將進入的光線分割並聚焦到感測器的不同位置，從而捕捉到來自不同角度的光線信息。這使得光場攝影機可以在後期處理中靈活調整焦點和景深。這個提案已有前例支持，在 Chou 等人的研究中提出，在染料敏化太陽能電池（DSSC）上裝備微透鏡陣列（MLA）可以增強光捕捉效率。MLA 能夠將更多的光線聚焦到活性材料上，提高光電轉換效率。具體來說，MLA可以幫助減少光的反射損失，增加進入電池的光量，從而提升電池的整體性能（Chou 2014）。

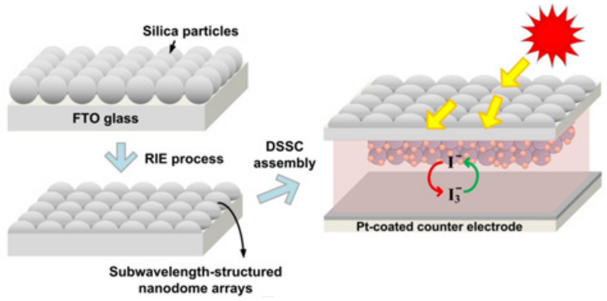


圖 **8.** 在玻璃板上製造亞波長結構奈米圓頂陣列和 DSSC 組裝的模板程式示意圖（Chou 2014）[]。

由於 DSSC 的光電轉換特性，這些環境資料可以被轉換成聲音。這裡將簡單的敘述我們的設定環境。我們將一片 3 x 3 公分的 DSSC 連結到一個在Max/MSP環境中預先訓練好的以被 nn~ wrapper 播放的 RAVE（Real-time Audio Variational auto-Encoder）模型，實時的將投在 DSSC 上的雷射圖案轉為聲音，在實驗影片裡演示並比較了通過 RAVE 和不通過 RAVE 模型的聲音結果[5]。這項實驗觀察了投影圖像、網版印刷的二氧化鈦光電極圖案以及聲音三者之間的關連。也就是說，光電極的圖案能夠預決定該 DSSC 層接收光線的結果。

[5] https://youtu.be/rkQSZi1Huek

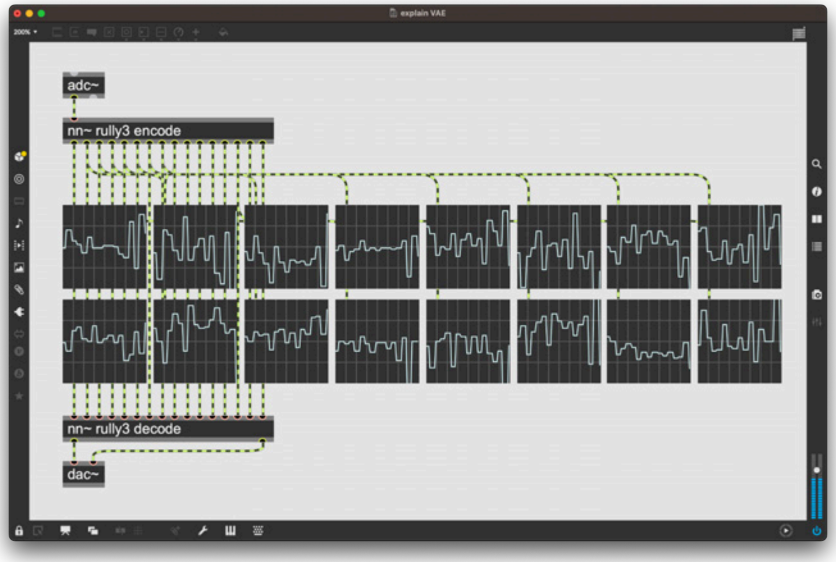
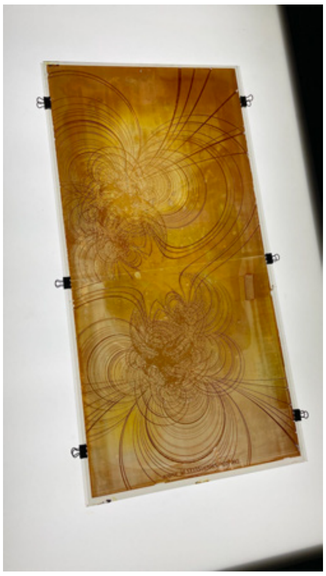


圖 **9.** nn~ 物件是在Max/MSP環境中用來執行 RAVE 模型的 wrapper。即時的輸入聲音能得到類似 style transfer 的效果，並且我們能觀察 encode 和 decode 物件之間的潛在空間裡的壓縮表徵，這些表徵在 -3 到 3 之間振蕩。

由於染料敏化太陽能能夠透過網版印刷技術被圖案化，這代表了我們能製作不均勻的感光原件層，這個屬性被利用來製作變分自動編碼器的潛在空間裡的壓縮表徵；例如，rully3.ts 是一個預先在 Google Colab 上利用 Senyawa 主唱 Rully Shabara Herman 的聲音訓練好的模型。在上圖中在 Max 環境裡的 rully3 模型產生了 16 組壓縮表徵串流，我們可以製作 16 個具備不同圖案的 DSSC 所產生的串流取代來自 encoder 物件並輸入 decoder 物件的串流。



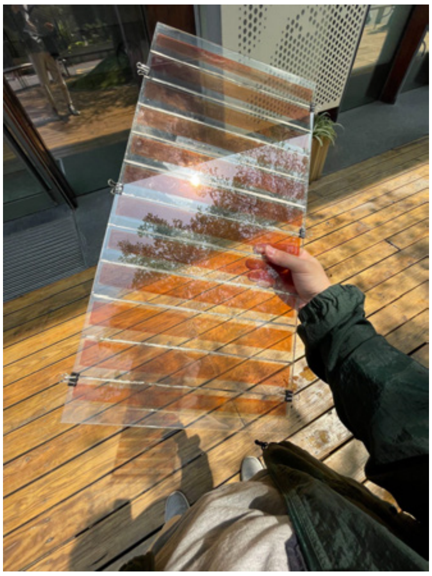


圖 **10.** 左：30 x 60 公分的大型圖案化 DSSC 。右：具垂直導通的串連電路的版本，具有更好的電壓和效能，可以看到其呈半透明。

DSSC 的可被圖案化能力和 RAVE 模型聲音之間的關系，以及 DSSC 的透明屬性該如何參與深度卷積神經網絡或是變分自動編碼器的運作機制，這項聲音裝置設計值得在未來更加深入研究。但是目前的研究已經提供了許多有價值的發現，例如玻璃基的 DSSC 可能與生成建築設計良好的結合，因其可被裁切，這符合參數設計的需求。並且這些建築也可以良好的根據 DSSC 的半透明性來設計結構，無論是在藝術觀點上的考量光學式運算的需求來設計感知器人工藝品或是在居住的考量上來設計溫室建築物，並且值得一提的是這項技術與補霧網的設

計之間在環境設計上的相關性，未來很有可能可以被歸納整合在一整體設計裡。例如，本研究中的參與者 Satoru Sugihara 的前作品 A(g)ntense，給了我們一個美好的預視與想像。

圖 11. A(g)ntense 是 Satoru Sugihara 的作品，在洛杉磯設計展 Blindspot Initiative Group Exhibition 上展出（2014 年）。

3.4 憶阻器與 DSSC 織品之間的相似性

在 H.Om.E 家計劃的最後階段，我進行了許多實驗關於將 DSSC 製作在織物基底上，因為玻璃耐高溫的特性，因此在玻璃基底上對塗布好的二氧化鈦奈米層進行 500 到 550 度的燒結是常見且可考的典型做法。因此要擺脫玻璃基底，在其他材料上進行燒結通常有兩個選擇，第一是找到其他能耐高溫的替代基底，第二就是使用低溫燒結法，這些實驗過程紀錄在 Hackteria 的維基上[6]，這裡先省略了一一介紹這些實驗，而只討論製作憶阻器的意義和做為本計劃中抽象轉換模型裝置的可行性。

圖 **10.** 以火山礦物纖維基底製造的染料敏化太陽能電池，展示了染料敏化太陽能織品化的可能性。火山礦物織品樣品由FILAVA提供。

首先憶阻器是一項極具商業潛力的未來產品，並且尚未普及於市場上。憶阻器是一種基於電阻變化的電子元件，其電阻值可以隨歷史電流通過量而改變。這種元件於1971年由Leon Chua提出，被視為電阻（Resistor）、電容（Capacitor）和電感（Inductor）之外的第四種基本電路

[6] https://www.hackteria.org/wiki/Abao_Nano_Doctor_Blade_Hacker_Residency

元件。Memristor具有記憶效應，即使在電源關閉後也能保持其電阻狀態，因此在非揮發性存儲器、類神經網絡和模擬突觸等領域有著廣泛應用。

憶阻器能夠實現類比運算，這與傳統的數字運算不同。它們能夠直接進行加法、乘法等操作，這在神經網絡和機器學習等領域尤為重要。憶阻器結構簡單，可以容易地集成到現有的半導體製造工藝中，並且具有良好的可縮放性。憶阻器（Memristor）與大腦神經元之間還存在著深刻的模仿關係，這使得憶阻器成為類神經網絡計算中的理想元件。

憶阻器（Memristor）技術中的交叉陣列架構（Crossbar Array Architecture）和乘法矩陣（Matrix Multiplication）的結合，為計算和存儲領域帶來了革命性的變革。交叉陣列架構是一種高度密集的網格結構，由水平和垂直排列的導線組成，在每個交叉點上放置一個可變電阻元件（如憶阻器）。這種結構允許在每個交叉點處精確調整電阻值，以進行高效的數據存儲和計算。在計算方面，交叉陣列架構特別適合實現乘法矩陣運算。矩陣乘法是線性代數中的基礎操作，涉及兩個矩陣的元素相乘並求和。交叉陣列架構通過在行和列之間施加電壓，實現了並行處理的能力。每個憶阻器交叉點的電阻值可以代表矩陣中的一個元素，通過同時對多個交叉點進行操作，交叉陣列可以快速完成大規模的乘法和加法運算，這對於神經網絡訓練和推理等需要大量矩陣運算的應用尤為重要。

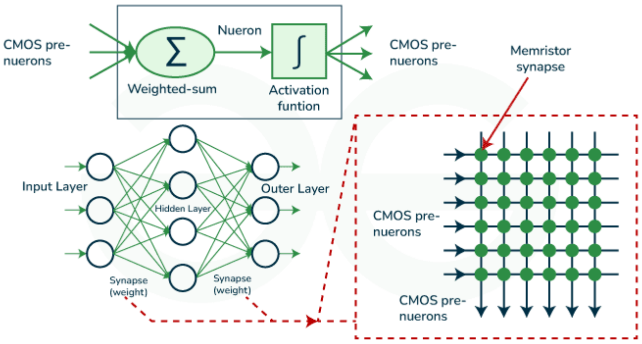


圖 **11.** 這張圖說明了憶阻器突觸在神經網路架構中的使用。左側描繪了傳統的神經網絡，顯示了從輸入層通過隱藏層到輸出層的資訊流。每個神經元計算其輸入的加權和並應用激活函數來產生輸出。這些代表權重的突觸對於網路的學習和功能至關重要。圖右側放大了使用帶有憶阻器的交叉陣列架構的突觸實現。這裡，CMOS 前神經元透過憶阻器突觸網格連接到 CMOS 後神經元。網格中的每個交叉點代表一個憶阻器，它會調整其電阻以儲存突觸權重。這種配置可以實現矩陣運算的高效並行計算，這對於神經網路處理至關重要。基於憶阻器的突觸為傳統電子元件提供了高密度、低功耗的替代品，模仿生物大腦中的突觸連接（Xu 2021）。

編織工藝品本身就是一種複雜的網格結構，這與交叉陣列有著某種程度上的相似性，結合憶阻器和編織工藝面臨著技術和實現的挑戰。我們需要開發出足夠小型且耐用的憶阻器元件，以適應編織結構的特性。其次，這些智能織物的設計和製造需要新的技術和工藝，以確保其功能性和耐用性。而憶阻器和 DSSC 的核心元件都是二氧化鈦基的奈米物質，在本研究中我們已經獲得足夠關於奈米二氧化鈦的特性的知識，這有助研究團隊下一階段關於憶阻器人工藝品的開發，與半導體專家溝通的協調能力。

4. 結論

本文紀錄了在 H.Om.E 家計劃中將抽象轉換模型轉化為人工藝品的思路轉換過程以及可能執行辦法，這些方法考慮並評估了可行性的難度，還有人工藝品設計與抽象轉換模型之間在概念觀點上和材料觀點上的關連性強度。事實上，具象化抽象轉換模型就是具象化深度學習工具，因為抽象轉換模型本身就是人工智慧模型。

本研究除了關注織品和人工智慧之間的關聯性，也關注了使用織品結構做為語言來表達地理位置的可能性，這也間接的在織品設計的意義上，保留了表達 Ingold 的物的網絡的概念的可能性。這些設計層面的想法也考慮了與原先計劃中社區之間的關連，這些設計除了在藝術層面上具有價值，在功能主義上也對社區具有潛在效益。

5. 參考

"Lightfield Camera." n.d. Accessed July 28, 2024. https://cameramaker.se/Lightfield.htm.

Chou, Chun-Chi, Kuan-Yi Tsao, Chih-Chung Wu, Hongta Yang, and Chih-Ming Chen. 2015. "Improved Power Conversion Efficiency for Dye-Sensitized Solar Cells Using a Subwavelength-Structured Antireflective Coating." *Applied Surface Science* 328 (February):198–204. https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.12.021.

Damak, Maher, and Kripa K. Varanasi. 2018. "Electrostatically Driven Fog Collection Using Space Charge Injection." *Science Advances* 4 (6): eaao5323. https://doi.org/10.1126/sciadv.aao5323.

Du, Ke-Lin, Chi-Sing Leung, Wai Ho Mow, and M. N. S. Swamy. 2022. "Perceptron: Learning, Generalization, Model Selection, Fault Tolerance, and Role in the Deep Learning Era." *Mathematics* 10 (24): 4730. https://doi.org/10.3390/math10244730.

Fernandez, Daniel M., Alicia Torregrosa, Peter S. Weiss-Penzias, Bong June Zhang, Deckard Sorensen, Robert E. Cohen, Gareth H. McKinley, Justin Kleingartner, Andrew Oliphant, and Matthew Bowman. 2018. "Fog Water Collection Effectiveness: Mesh Intercomparisons." *Aerosol and Air Quality Research* 18 (1): 270–83. https://doi.org/10.4209/aaqr.2017.01.0040.

Junyi Li, Fulin Peng, Fan Yang, Xuan Zeng. 2024. "A Memristor Crossbar-Based Computation Scheme with High Precision." n.d. Ar5iv. https://ar5iv.labs.arxiv.org/html/1611.03264.

Ki, Ravikumar, and Sukumar R. 2022. "Memristor Based Object Detection Using Neural Network." *High-Confidence Computing* 2 (4): 100085. https://doi.org/10.1016/j.hcc.2022.100085.

Mariani, Paolo, Antonio Agresti, Luigi Vesce, Sara Pescetelli, Alessandro Lorenzo Palma, Flavia Tomarchio, Panagiotis Karagiannidis, Andrea C. Ferrari, and Aldo Di Carlo. 2021. "Graphene-Based Interconnects for Stable Dye-Sensitized Solar Modules." *ACS Applied Energy Materials* 4 (1): 98–110. https://doi.org/10.1021/acsaem.0c01960.

Martineau, David. n.d. "Dye Solar Cells for Real."

Rosner, Daniela K. 2018. *Critical Fabulations: Reworking the Methods and Margins of Design*. MIT Press.

Wei, Tzu-Chien, Jo-Lin Lan, Chi-Chao Wan, Wen-Chi Hsu, and Ya-Huei Chang. 2013. "Fabrication of Grid Type Dye Sensitized Solar Modules with 7% Conversion Efficiency by Utilizing Commercially Available Materials." *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 21 (8): 1625–33. https://doi.org/10.1002/pip.2252.

Xu, Weilin, Jingjuan Wang, and Xiaobing Yan. 2021. “Advances in Memristor-Based Neural Networks.” *Frontiers in Nanotechnology* 3 (March). https://doi.org/10.3389/fnano.2021.645995.

Zhu, Shuaishuai, Andy Lai, Katherine Eaton, Peng Jin, and Liang Gao. 2018. “On the Fundamental Comparison between Unfocused and Focused Light Field Cameras.” *Applied Optics* 57 (1): A1. https://doi.org/10.1364/AO.57.0000A1.